

Lukáš ČÁBI¹, Pavel VLČEK²

**BEDNĚNÍ STĚN A STROPU HLOUBENÉ ČÁSTI TUNELU II-VMO DOBROVSKÉHO
BEDNICÍM SYSTÉMEM PERI**

**WALL- AND CEILINGFORMWORK OF CUT AND COVER TUNNEL II-VMO
OF DOBROVSKY WITH FORMWORK SYSTEM PERI**

Abstrakt

Tunel Dobrovského je součástí velkého městského okruhu (VMO) města Brna, který tvoří silniční síť ČR (I/42) i mezinárodní síť (E 461). Tunel se skládá ze dvou paralelních dvoupruhových tunelů spojující městskou část Žabovřesky a Královo Pole.

Cílem příspěvku je popis realizace bednění stěn a stropu jednotlivých dilatačních úseků hloubené části Tunelu II – portálu Žabovřesky pomocí bednicího systému PERI.

Klíčová slova

Tunel Dobrovského, Bednění, PERI, SB-Opěrný rám, Podpěrný systém ST-A4

Abstract

Dobrovského tunnel is part of large city circuit (VMO) of city Brno, which creates traffic net in the Czech Republic (I/42) as well as international traffic net (E 461). The Tunnel consists two parallel two-lane tunnels which are connecting city area Zabovresky and Kralovo Pole.

The main target of report is description of execution of wall and ceiling form work in individual dilatation section of cut and cover tunnel – Zabovresky gantry using formwork system PERI.

Keywords

Dobrovského Tunnel, Formwork, SB-Brace frame, Support system ST-A4

1 VELKÝ MĚSTSKÝ OKRUH (VMO) - TUNEL DOBROVSKÉHO

Tunel Dobrovského je tvořen dvěma tunely, které se skládají z hloubených a ražených částí. Z pohledu situace (Obr. 1) je osa T2 Tunelu II na začátku tunelu odpojena od osy Tunelu I TI dvěma protisměrnými oblouky. Následuje přímá část k poslednímu úseku tunelu, kde se osa opět dvěma protisměrnými oblouky vrací k ose TI Tunelu I. Největší osová vzdálenost obou tunelů je cca 90 m [1]. Tunelové trouby jsou dvoupruhové světlé šířky 8,50 m mezi obrubami, po obou stranách vozovky jsou nouzové chodníky šířky 1,15 m. Výška průjezdního průřezu v tunelu je 4,50 m. V každé tunelové troubě je jeden nouzový záliv pro odstavení vozidla při poruše. Tunely jsou propojeny čtyřmi tunelovými spojkami - únikovými cestami pro pěší. Z jedné z těchto tunelových spojek je možné se dostat po schodišti nebo evakuačním výtahem přímo na povrch do oblasti technologického centra na ulici Dobrovského. Tunely mají oddělený dopravní prostor a prostor pro

¹ Ing. Lukáš Čábi, Ph.D., PERI spol. s r. o., Průmyslová 392, 252 42 Jesenice, tel.: (+420) 222 359 462, e-mail: l.cabi@peri.cz.

² Ing. Pavel Vlček, Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Poděště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 914, e-mail: pavel.vlcek1@vsb.cz.

odsávání znečištěného vzduchu s výdechem dvěma komíny v technologickém centru. Technologické vybavení tunelů odpovídá nejaktuálnějším požadavkům dle evropských standardů (automaticky řízené větrání, monitorovací zařízení, SOS skříně, kamerový dozor, požární vodovod) [2].

Ze situace (Obr. 1) je patrná trasa ražených úseků tunelů pod městskou zástavbou, která přinášela vysoké nároky na zhotovitele stavby (např. omezení hluku, prašnost, čistotu komunikací atd.) [1].

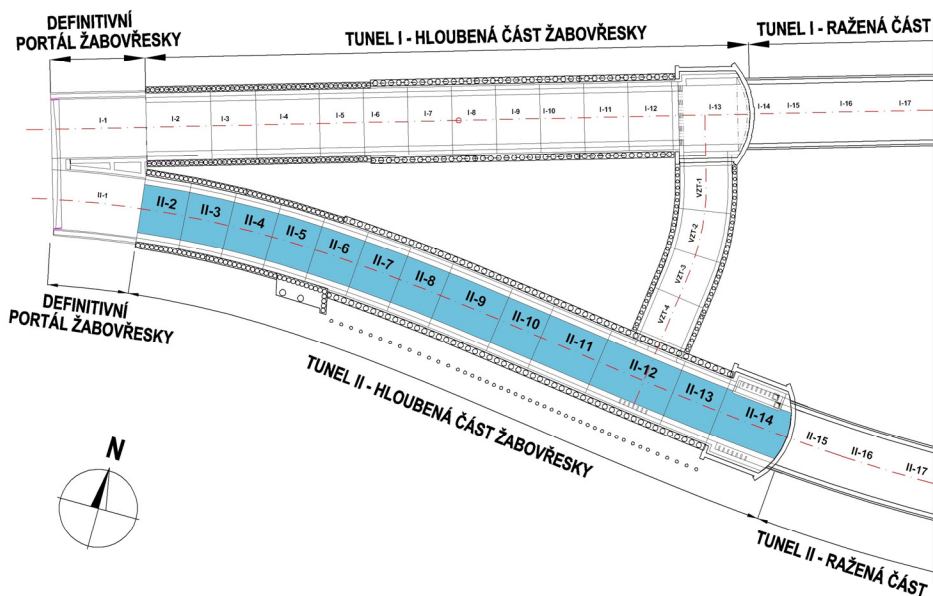


Obr.1: Situace Tunelu Dobrovského v Brně (PERI s.r.o. ©)

1.1 Popis konstrukce hloubené části Tunelu II – část Žabovřesky

Tunel II je budován jako dvoupruhový, který po svém dokončení převede jednosměrnou dopravu z městské části Žabovřesky do směru Brno – Královo Pole. Konstrukce tunelu je provedena jako železobetonový uzavřený rám v otevřené pažené stavební jámě. V průběhu výstavby byly stěny jednotlivých dilatačních úseků rozepřeny pomocí ocelových rozpěr (Obr. 9), které dočasně zajišťovaly stabilitu stěn tunelu. Celková délka tunelu II je 1258 m. Ražená část tunelu má délku 1060 m a hloubená část tunelu má délku 149 m (část Žabovřesky). Tunel II od žabovřeského portálu klesá ve sklonu 4,5 %. Je situován cca 60 m jižněji a směrově je trasován tak, aby co nejšetrněji podcházel povrchovou zástavbu [2].

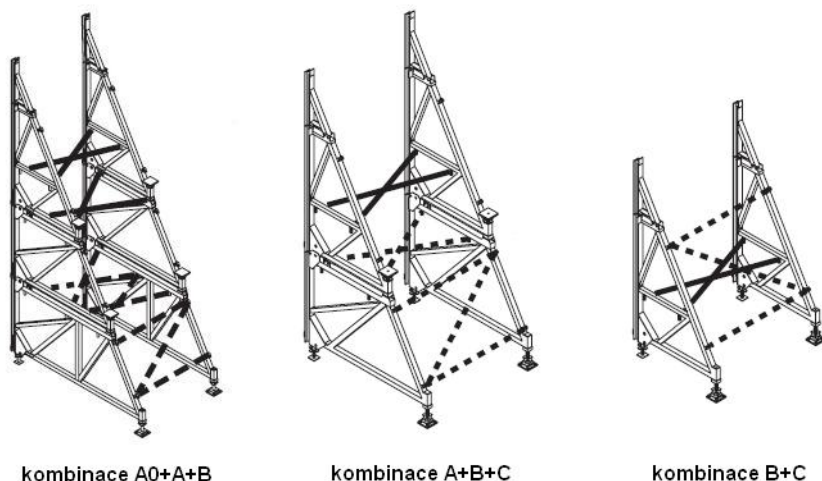
V následujících odstavcích bude popsán návrh a provedení bednění stěn a stropů pro dilatační úseky II-2 až II-14 (délka cca 130 m) hloubené části Tunelu II – část Žabovřesky (Obr. 2).



Obr.2: Dilatační celky hloubené části Tunelu II (PERI s.r.o. ©)

2 BEDNĚNÍ STĚN TUNELU SYSTÉMEM OPĚRNÝCH SB-RÁMŮ

Opěrný rám SB je ocelový příhradový nosník ve tvaru pravoúhlého trojúhelníku, který se používá pro jednostrannou betonáž. Opěrné rámy se dodávají ve čtyřech základních velikostech (SB-A0, SB-A, SB-B a SB-C), které je možno kombinovat až do výšky 8,75 m. Při realizaci jednotlivých dilatačních úseků hloubené části Tunelu II (Obr. 2) byly rozdílné výšky pracovních spár (např. pro dilatační úsek II-8 byla výška 4,8 m a pro dilatační úsek II-10 byla výška 6,89 m). Z tohoto důvodu byly použity kombinace ráků A0+A+B, A+B+C a B+C (Obr. 3).



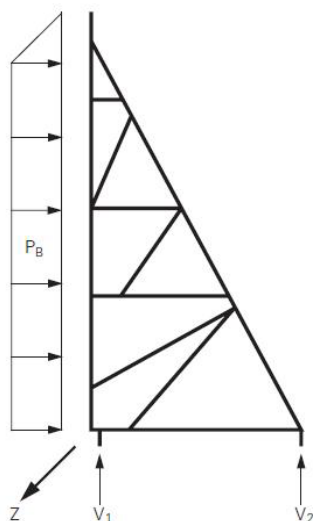
Obr. 3: Schéma kombinací ráků použitých při realizaci tunelu (foto PERI s.r.o. ©)

Plášť bednění stěn pro jednotlivé dilatační celky byly vytvořeny z VARIO panelů. Každý bedňící VARIO panel byl spojen se dvěma opěrnými ráky pomocí závorové spony SB-A,B,C a klínu K (Obr. 4). Hlavní funkcí opěrných ráků bylo přenesení zatížení vzniklého od tlaku čerstvého betonu do podloží. Při použití opěrných ráků bylo nutné zaručit, aby působící síly Z a tlakové síly V_1 a V_2 (Obr. 5) byly bezpečně převedeny do spodní stavby. Tlakové síly V_1 a V_2 byly bezpečně přeneseny skrz betonové panely do předem provedené betonové desky. Tahová síla Z byla určena na základě následujících vstupních údajů:

- výška betonáže,
- tlak čerstvého betonu,
- kombinace opěrných ráků,
- osová vzdálenost opěrných ráků.



Obr. 4: Spojení VARIO panelu s opěrným rákem (foto PERI s.r.o. ©)

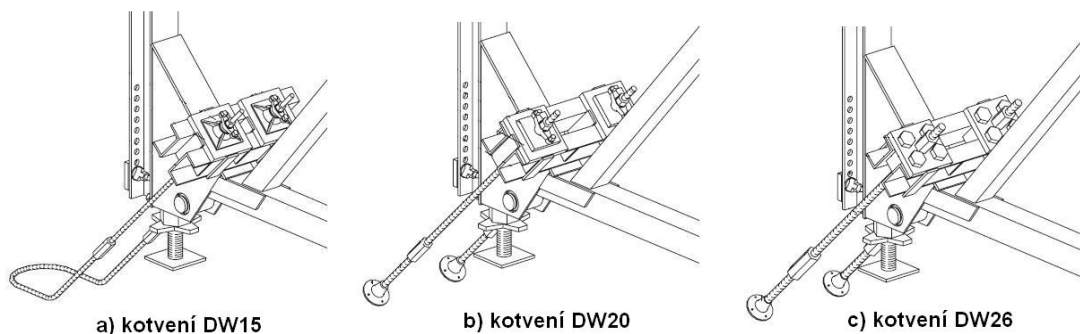


Obr. 5: Schéma namáhání opěrného rámu (foto PERI s.r.o. ©)

Na základě určené tahové síly Z byl navržen kotevní systém opěrných ráků. Firma PERI dodává pro opěrné ráky celkem 3 druhy kotevních systémů (Tab.1). Hodnoty přípustného zatížení v Tabulce 1 platí pouze pro jednu kotevní tyč. Pro kotevní systémy platí pravidlo, že pro každý opěrný rám se použijí dvě kotevní tyče (Obr. 6a, 6b a 6c).

Tab.1: Kotevní systémy opěrných ráků (PERI s.r.o. ©)

Kotevní systém	Přípustné zatížení [kN]
DW 15 (Obr. 6a)	90
DW 20 (Obr. 6b)	150
DW 26 (Obr. 6c)	250



Obr. 6: Kotevní systém opěrného ráku (foto PERI s.r.o. ©)

Kotevní tyče byly kotveny pod úhlem 45° pomocí kotevního držáku V (Obr. 7) a montážního kónusu, které byly současně montovány k hlavní výztuži spodní desky tunelu. Předem zabetonované kotevní držáky umožňovaly vyšroubování kotevních táhel a následně jejich přepoužití do dalších dilatačních úseků, což zvyšovalo hospodárnost kotevního systému.



Obr. 7: Montáž kotevního držáku V k hlavní výztuži spodní desky (foto PERI s.r.o. ©)

Při návrhu bednění stěn byl kladen požadavek ze strany zhotovitele stavby (OHL ŽS Brno a.s.), aby bylo možno bednění stěn snadno přemístit do dalšího pracovního záběru. Z tohoto důvodu bylo navrženo rozdělení bednění na dílčí bednicí celky, které se skládaly z jednoho VARIO bednicího panelu a ze dvou opěrných rámců. Na každý opěrný rám byly připevněny dva kusy pojezdových koleček SB-A,B (Obr. 8) o únosnosti 1,2 tuny/ 1 ks, které umožňovaly přesun rámců do dalšího pracovního záběru. Pro zajištění stability byla každá dvojice opěrných rámců závěšována pomocí lešenářských trubek a kloubových spojek (Obr. 8). Na začátku přesunu bednění stěny se celá bednicí sestava rozdělila na výše uvedené dílčí bednicí celky, které se po přesunu do dalšího pracovního záběru opět spojily do jednotné bednicí sestavy.



Obr. 8: Opěrné rámy s pojezdovými kolečky SB-A,B (foto PERI s.r.o. ©)

3 BEDNĚNÍ STROPU TUNELU POMOCÍ POJÍZDNÉHO VOZU ST-A4

Pro bednění stropu jednotlivých dilatačních úseků hloubeného tunelu byl použit pojezdový bednicí vůz ST-A4. Konstrukce bednicího vozu byla navržena jako prostorová rámová konstrukce s výškou 6,59 m, šířkou 11,35 m a délkou 12 m. Základní konstrukci bednicího vozu (Obr. 9) tvoří nosné věže vytvořené skládáním jednotlivých rámců do výšky cca 4,3 m. Jednotlivé nosné věže jsou v osové vzdálenosti 3,26 m spojené s dvojicí podélných nosníků pomocí stavěcích vřeten. Na každou nosnou věž je pomocí stavěcích vřeten připojena ocelová hlavice, na kterou je osazen a připojen pomocí nosníkových spojek podélný nosník. Na horní příruby podélných nosníků byly osazeny v osové vzdálenosti 1,5 m příčné nosníky, které tvořily s dřevěnými nosníky GT 24 (Obr. 9) nosný podklad pro bednicí plášť ve formě překližky.



Obr. 9: Bednicí pojízdný vůz ST-A4, ocelové rozpěry stěn tunelu (foto PERI s.r.o. ©)

Bednicí vůz ST-A4 byl opatřen pojízdnými rolnami (Obr. 10), které umožňovaly přesun bednicího vozu do dalšího pracovního záběru. Pojezdové rolny byly doplněny stavěcími klíny (Obr.10), jejichž hlavní funkcí byl přenos zatížení od betonáže a bednicího vozu do podloží. Hmotnost bednicího vozu byla cca 45 tun. Na tuto hmotnost byl navržen počet pojízdných roln (celkem 4 ks s únosností 650 kN / 1 ks). Pojízdná rolna byla přišroubována k příčnému nosníku (Obr. 10), který byl spojen s dvojicí podélných nosníků pojízdného bednicího vozu ST-A4.

Při betonáži byl bednicí vůz zvednut na stavěcích klínech rozmístěných pod podélné nosníky (Obr. 10) a jejich stabilita byla zajištěna upínacími svorkami. Princip spouštění bednicího vozu na rolny do ocelového profilu U spočíval v tom, že se povolením matice stavěcího šroubu poklesového klínu zmenšovala výška klínu až do okamžiku, kdy pojezdová rolna dosedla do ocelového profilu U a celá váha bednicího vozu byla přenášena přes pojezdové rolny do podloží.



Obr. 10: Pojezdové rolny a stavěcí klíny pod podélným nosníkem (foto PERI s.r.o. ©)

Rovinná tuhost podpěrných věží bednicího vozu ST-A4 byla vytvořena pomocí závětrování z kotevních táhel DW 15 (Obr. 9), které byly orientovány do tvaru diagonálního překřížení. Jednotlivé táhla byly spojeny s horním a dolním podélným nosníkem pomocí upínacích válců a kloubových matic.

Přikotvení bednicího vozu ST-A4 k podkladu při betonáži bylo zajištěno pomocí převázky ve formě ocelového nosníku SRU (Obr. 11), který byl stáhnut k podkladu pomocí kloubové matice a táhel DW 15, jenž se našroubovaly do kotev zabudovaných do podkladu při betonáži spodní desky.

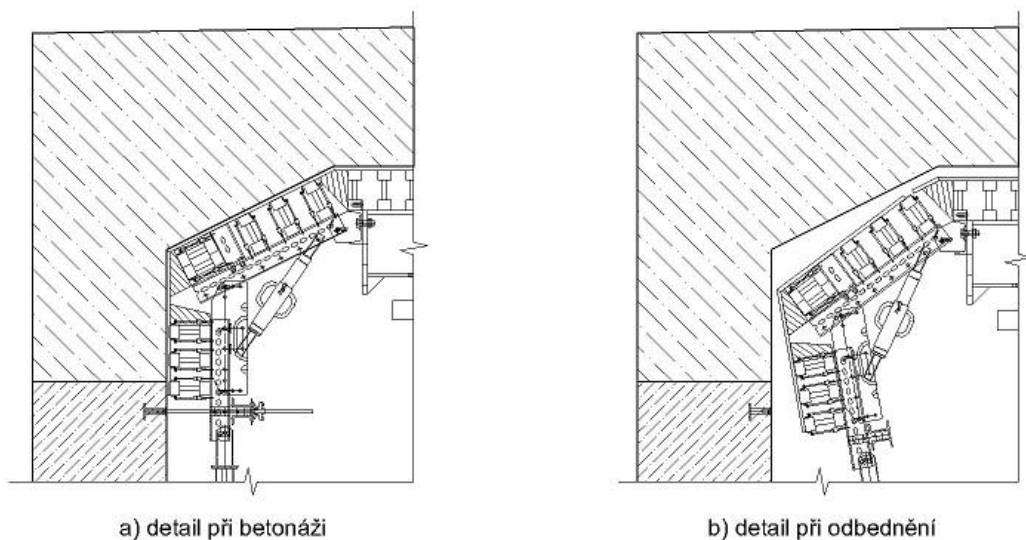


Obr. 11: Převázka podélného nosníku bednicího vozu ST-A4 (foto PERI s.r.o. ©)

Komplikovaným místem pro návrh bednění byl přechod mezi stěnou a stropem, kde dochází k náběhu (Obr. 12). Tato část bednicího pláště byla řešena jako odklopné křídlo, které bylo možno vyklopit o potřebný úhel při pojezdu do dalšího pracovního záběru.

Následně bylo však nutné vyřešit v tomto místě problém přenesení vodorovných sil vznikajících zejména pod náběhem (Obr. 12) při betonáži stropní desky. Z tohoto důvodu byly použity kotevní krčky (Obr. 12) předem zabudované při betonáži stěn. Tyto kotevní krčky byly řešeny jako ztravné prvky bednění. Kotevní krček byl spojen s odklopným křídlem pomocí převázky (ocelové táhlo DW15 a ocelový nosník SRU), čímž byla zajištěna stabilita spodní části odklopného křídla, na kterou působil tlak čerstvého betonu.

V přední a zadní části bednicího pláště v podélném směru byl přesahem dřevěných příhradových nosníků GT 24 vytvořen montážní prostor potřebný pro manipulaci při betonářských pracích. Bednicí plášť zároveň sloužil jako podklad pro čílkování (bednění čelních ploch pracovního záběru) provedené z rámových bednicích panelů DOMINO.



Obr. 12: Bednění náběhu hloubené části tunelu (foto PERI s.r.o. ©)

4 DŮLEŽITÉ POZNATKY Z BETONÁŘSKÝCH PRACÍ

Přemísťování VARIO stěnových panelů spojených s dvojicí SB opěrných ráků bylo provedeno pomocí pojezdových koleček. Pro zajištění stability opěrných ráků proti překlopení byly použity silniční panely (Obr. 8) jako protizávaží kladené na spodní příruby opěrných ráků. Pro snadné odbedňování byl povrch bednicího pláště opatřen nátěrem PERI BIO Clean, což je biologicky snadno odbouratelný separační olej vyrobený na čistě rostlinné bázi. Stavební proces pro výstavbu stěn jednoho dilatačního celku (bednění, armování, betonáž, přemístění bednění do dalšího pracovního záběru) trval cca 7 dnů. Tlak čerstvého betonu při betonáži dosahoval hodnoty 30 – 50 kN / m². Z důvodu požadavku pohledovosti betonu ze strany subzhotovitele stavby (OHL ŽS Brno a.s.) bylo nutné při návrhu bednění stěn vytvořit tzv. spárořez, což je rozvržení spar jednotlivých bednicích desek na zatvrdlém povrchu vybetonované stěny.

Pro bednění stropu dilatačních úseků tunelu byl použit bednicí pojízdný vůz vyrobený ze systému ST-A4. Tento systém se vykazuje snadnou a rychlou montáží / demontáží a zároveň se používá jako systém pro těžké podsukružení. Použitím tohoto systému bylo dosaženo průjezdného profilu šířky 4,1 m a výšky 5,6 m. Z výše uvedených faktů byl zhotovitel stavby spokojen s nasazením tohoto bednicího systému. Přemístění pojízdného bednicího vozu probíhalo pomocí rolen, které pojížděly po ocelovém profilu U. Na začátku procesu pojíždění se musely odklopit boční křídla bednicího pláště (Obr. 12) a bednicí vůz poklesl o cca 7 cm. Potom následovalo posunování bednicího vozu do dalšího pracovního záběru pomocí řetězového navijáku. Ocelové rozpěry (Obr. 9) byly řešeny jako univerzální rozpěry, které se přepoužily do dalších dilatačních úseků, kde bylo nutno rozepřít stěny tunelu. Přemístění ocelových rozpěr a pojízdného bednicího vozu ST-A4 do dalšího pracovního záběru proběhlo souběžně. Jednotlivé rozpěry byly demontovány a uloženy na podélné nosníky pojízdného vozu ST-A4, který se přesunul do dalšího pracovního záběru, a potom byly jednotlivé rozpěry opět montovány na předem připravené ocelové plotny.

Dobrá spolupráce mezi subzhotovitelem stavby (OHL ŽS Brno a.s.) a projekční kanceláří bednění (PERI s.r.o.) zajistila uspokojivý průběh výstavby jednotlivých dilatačních celků hloubené části Tunelu II – část Žabovřesky.

LITERATURA

- [1] BAČA, J. – DOHNÁLEK, V.: *Silniční obzor – Královopolský tunel – popis díla a shrnutí dosavadního popisu výstavby*. 71st ed. Praha : PeMa, 2010. 87 pp. ISSN 0322-7154.
- [2] <<http://www.modernibrno.cz/tema/Tunely/clanek.htm?clanek=52>> .
- [3] *PERI opěrný rám SB pro jednostranné bednění do výšky 8,75 m – Výrobní program PERI*. PERI s.r.o., Průmyslová 392, 252 42 Jesenice u Prahy, www.peri.cz.
- [4] *ST-A4 Podpěrný systém pro velká zatížení – Výrobní program PERI*. PERI s.r.o., Průmyslová 392, 252 42 Jesenice u Prahy, www.peri.cz.

Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Jiří Pechman, AMBERG Engineering Brno, a.s.